

3D 打印技术 及应用

- ◎ 真实生产型案例
- ◎ 项目化做中学
- ◎ 技术原理、操作技能、应用实例三位一体
- ◎ 配套信息化教学工具+资源库，教学更简单

吴立军 招 銮 宋长辉
黄 岗 刘 晶 等编著



浙大旭日科技提供教学资源



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

3D 打印技术及应用

吴立军 招 銮 宋长辉 黄 岗 刘 晶 等编著



2017年11月第1版 2017年11月第1次印刷

ISBN 978-7-309-07378-8
17.5
14.00元



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

浙江出版集团数字出版有限公司 杭州 311126
http://www.zjup.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

3D 打印技术及应用 / 吴立军等编著. —杭州:
浙江大学出版社, 2017. 11
ISBN 978-7-308-17372-8

I. ①3… II. ①吴… III. ①立体印刷—印刷术—教材 IV. ①TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 217077 号

内容提要

全书共 11 章, 1~4 章主要介绍 3D 打印技术的概况、原理、3D 打印模型应如何创建、3D 打印技术应用技巧等, 5~10 章则是以典型的企业案例为载体, 详细介绍 SLA、SLS、SLM 等主流 3D 打印技术在企业中的应用, 每个项目都由案例描述、设计思路、数据处理、实施过程等部分组成。第 11 章则详细介绍 majics 功能及操作方法。

针对教学的需要, 本书由浙大旭日科技配套提供教学资源库, 由学呗科技提供信息化教学工具(学呗课堂), 内容更丰富、形式更多样, 教学更简单, 可以更好地提高教学的效率、强化教学效果。本书适合用作高校 3D 打印技术及应用课程的教材, 还可作为各类技能培训的教材, 也可供相关工程技术人员的培训自学教材。

3D 打印技术及应用

吴立军 招 鑫 宋长辉 黄 岗 刘 晶 等编著

责任编辑 杜希武
责任校对 陈静毅 汪淑芳
封面设计 刘依群
出版发行 浙江大学出版社
(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)
(网址: <http://www.zjupress.com>)
排 版 杭州好友排版工作室
印 刷 杭州杭新印务有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 17.5
字 数 436 千
版 次 2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-308-17372-8
定 价 48.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行中心联系方式: (0571) 88925591; <http://zjdxcb.tmall.com>

《机械工程系列精品教材》

编审委员会

(以姓氏笔画为序)

丁友生 王卫兵 王丹萍

王志明 王敬艳 王翠芳

古立福 江财明 吴立军

杨大成 单岩 周文学

林学钊 罗晓晔 苗盈

赵学跃 翁卫洲 鲍华斌

www.mechbook.com.cn

电话: (021) 64911278

上海交通大学出版社与上海三维打印(上海)有限公司联合出版, 上海三维打印(上海)有限公司为本书提供了强有力的技术支持



前 言

3D 打印技术也叫“增材制造技术”，是以 3D 设计模型文件为基础，运用可黏合材料，通过逐层堆叠累积的方式构造与模型一致的物理实体的技术。3D 打印技术是新兴制造技术，体现了信息技术与先进材料技术、数字化制造技术的密切结合，是先进制造业的重要组成部分，可以极大地提高各个领域中的工作效率。因此，3D 打印技术被誉为“第三次工业革命最具标志性的生产工具”。

经过多年的发展，我国 3D 打印技术取得了长足进展，与世界先进水平基本同步，成功研制出光固化、激光选区烧结、激光选区熔化、激光近净成型、熔融沉积成型、电子束选区熔化成型等工艺装备。3D 打印技术及产品已经在航空航天、汽车、生物医药、文化创意等领域得到了初步应用，涌现出一批具备一定竞争力的骨干企业。为更好更快地推进增材制造产业的健康有序发展，国务院制定了《国家增材制造产业发展推进计划（2015—2016 年）》。《计划》要求大力推进应用示范，明确指出要组织实施学校增材制造技术普及工程，要在学校配置增材制造设备及教学软件，开设增材制造知识的教育培训课程；支持在有条件的高校设立增材制造课程、学科或专业。

为了满足国内高校开设 3D 打印相关课程教学的实际需要，编者结合近年来的 3D 打印技术发展情况，联合行业知名企业，编写了《3D 打印技术及应用》。本书适合作应用型本科和职业院校 3D 打印技术及应用等课程的教材，还可作为相关技能培训的教材，也可作为相关工程技术人员的自学教材。

本书配套提供教学资源库及信息化教学工具（学呗课堂）。本书读者扫一扫教材封底的下载二维码或各应用市场或 www.walkclass.com 下载“学呗课堂”APP。注册并登录“学呗课堂”，用“学呗课堂”APP 扫一扫教材封底的“（学习版）二维码”，即可获得配套的学习版教学资源；教师版教学资源欢迎来电索取。

本书由浙江科技学院吴立军、硕威三维打印（上海）有限公司招鑫、华南理工大学宋长辉、杭州科技职业技术学院黄岗、杭州浙大旭日科技开发有限公司刘晶等编著。限于编写时间和编者的水平，书中必然会存在需要进一步改进和提高的地方。我们十分期望读者及专业人士提出宝贵意见与建议，以便今后不断加以完善。请通过以下方式与我们交流：

- E-mail: book@51cax.com
- 电话: 0571-28811226

硕威三维打印（上海）有限公司何德生技术总监和杨耀宇经理提供了强有力的技术支持

和帮助,杭州浙大旭日科技开发有限公司为本书提供配套立体教学资源库,杭州学呗科技有限公司提供教学软件及相关协助,在此表示衷心的感谢。

最后,感谢浙江大学出版社为本书的出版所提供的机遇和帮助。

作者

2017年8月

目 录

第 1 章 认识 3D 打印技术	1
1.1 什么是 3D 打印	1
1.2 3D 打印技术系统组成	3
1.3 3D 打印的特点	6
1.4 3D 打印的应用	10
1.5 3D 打印技术现状及展望	15
1.6 典型设备及厂商介绍	21
1.7 本章小结	28
习 题	29
第 2 章 3D 打印的原理	30
2.1 3D 打印基本原理	30
2.2 3D 打印工作流程	31
2.3 3D 打印成型工艺	33
2.4 3D 打印材料与选择	40
2.5 本章小结	48
习 题	49
第 3 章 3D 打印数据建模及切片处理	50
3.1 建模方法	50
3.2 3D 扫描数据获取与处理	52
3.3 常用三维建模软件	56
3.4 3D 打印建模注意事项	65
3.5 3D 打印的切片处理	69
3.6 本章小结	73
习 题	73
第 4 章 3D 打印技术应用技巧	74
4.1 3D 打印表面改善	74
4.2 3D 打印结构设计	76
4.3 3D 打印常见质量问题及改善	81

4.4	3D 打印的成型技巧	87
4.5	3D 打印设备维护	89
4.6	本章小结	93
	习 题	93
第 5 章	SLA 及正向造型实例:瓷鸣·手机共鸣音箱	94
5.1	案例描述	94
5.2	设计思路	95
5.3	正向造型数据建模	98
5.4	数据处理	106
5.5	模型成型过程	112
5.6	成型后处理	114
5.7	本章小结	118
第 6 章	FDM 及逆向造型实例:摩托车后视镜壳体	119
6.1	案例描述	119
6.2	后视镜三维建模	120
6.3	数据处理	131
6.4	模型成型过程	140
6.5	成型后处理	143
6.6	本章小结	145
第 7 章	Polyjet 实例:大象玩具摆件	146
7.1	案例描述	146
7.2	技术解析	146
7.3	数据处理	150
7.4	模型成型过程	159
7.5	成型后处理	164
7.6	本章小结	165
第 8 章	SLS 实例:洗衣机功能部件	166
8.1	案例描述	166
8.2	技术解析	167
8.3	数据处理	169
8.4	模型成型过程	175
8.5	成型后处理	183
8.6	本章小结	186



第 9 章 DLP 实例: 电器接插件	188
9.1 案例描述	188
9.2 技术解析	189
9.3 数据处理	190
9.4 模型成型过程	203
9.5 成型后处理	206
9.6 本章小结	210
第 10 章 金属 SLM 实例: 叶轮	211
10.1 案例描述	211
10.2 技术解析	213
10.3 数据处理	215
10.4 模型成型过程	222
10.5 成型后处理	229
10.6 本章小结	232
第 11 章 Magics 软件的使用	234
11.1 Magics 软件介绍	234
11.2 Magics 功能基础	236
11.3 Magics 软件案例实践	254
11.4 本章小结	265
习 题	266
参考文献	267



第1章 认识3D打印技术

教学目标:了解3D打印技术的概念、系统组成、特点及应用;了解3D打印的典型设备及常见的国内外厂商。

教学重点:3D打印技术的基本原理、系统组成与特点。

教学难点:3D打印设备的系统组成,3D打印设备的选购。

1.1 什么是3D打印

近年来,3D打印的浪潮影响覆盖甚广,无论在报纸杂志、网络媒体还是电影、电视剧里都能看到3D打印的身影,无数关于3D打印的网站论坛也陆续出现,突然间3D打印聚焦了无数人的眼球,3D打印也成了科技同行茶余饭后爱讨论的话题。

据悉,全球第一台3D打印机出现在1986年。至此,3D打印技术不断在各个领域展现其神奇的魅力,正逐渐融入设计、研发以及制造的各个环节。3D打印技术已经在人体器官、医药、汽车、太空、艺术、食品、建筑等各领域扮演越来越重要的角色(如图1-1所示)。

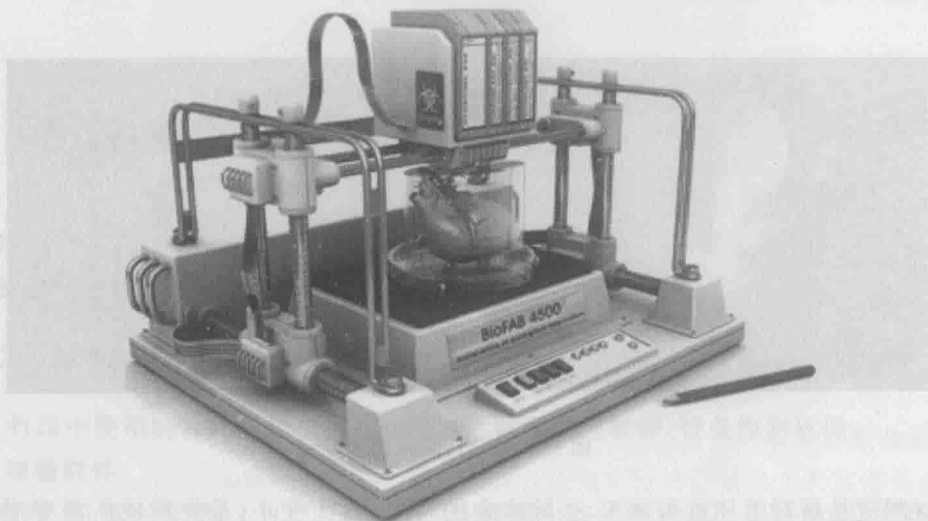


图1-1 3D打印心脏

可以这么说,3D打印技术正推动生产方式的变革,优化传统加工制造方式,催生新的生产模式。3D打印技术势必成为引领未来制造业趋势的众多突破之一。

以3D打印为代表的数字化制造技术,被《经济学人》杂志认为是引发第三次工业革命

的关键因素，“其将改写制造业的生产方式，进而改变产业链的运作模式”。

那么，什么是 3D 打印？

3D 打印技术是由数字模型直接驱动，运用金属、塑料、陶瓷、树脂、蜡、纸和砂等可黏合材料，在 3D 打印机上按照程序计算的运行轨迹，“分层制造，逐层堆积叠加”来构造出与数据描述一致的物理实体的技术，如图 1-2 所示。利用 3D 打印技术，可以将虚拟的、数字的物品快速还原到实体世界，得到个性化的产品，尤其是形状复杂、结构精细的物体。



图 1-2 快速成型制造模型的过程

准确地讲，3D 打印应称为快速成型技术 (Rapid Prototyping, RP)。然而，从用户的使用体验而言，快速成型技术设备与普通平面打印机极为相似，都是由控制组件、机械组件、打印头、耗材和介质等组成，打印成型过程也很类似。正是如此，快速成型技术才会被形象地称为 3D 打印。

3D 打印与传统生产制造方式属于不同的技术范畴。传统的生产制造方式属于等材制造或减材制造技术范畴，而 3D 打印则属于增材制造技术范畴。

等材制造是指在制造过程中，基本上不改变材料的量，或者改变很少。典型的等材制造技术如铸造、焊接、锻压等制造技术 (如图 1-3 所示)。

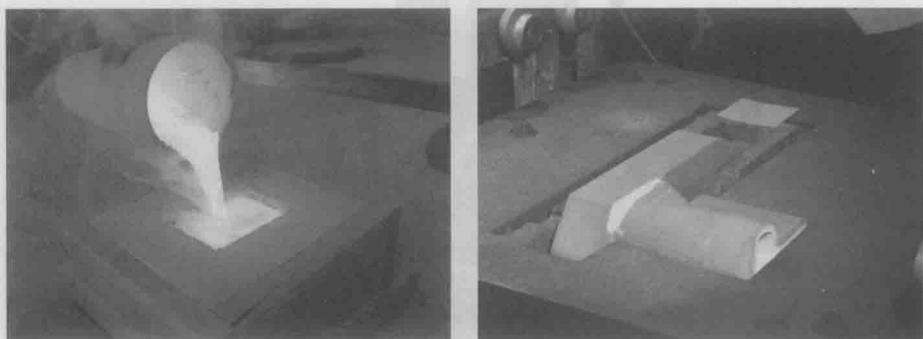


图 1-3 铸造、锻压加工

减材制造是指对毛坯进行加工，去除多余的材料，由大变小，最终形成所需要形状的零件。典型的减材制造技术如车削加工、钻削加工、磨削加工等金属切削加工技术 (如图 1-4 所示)。

增材制造是采用材料逐渐累加的方法制造实体零件的技术，相对于传统的材料去除——切削加工技术，增材制造是一种“自下而上”的制造方法，如图 1-5 所示。

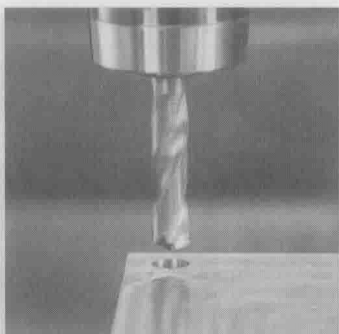


图 1-4 车削加工、钻削加工

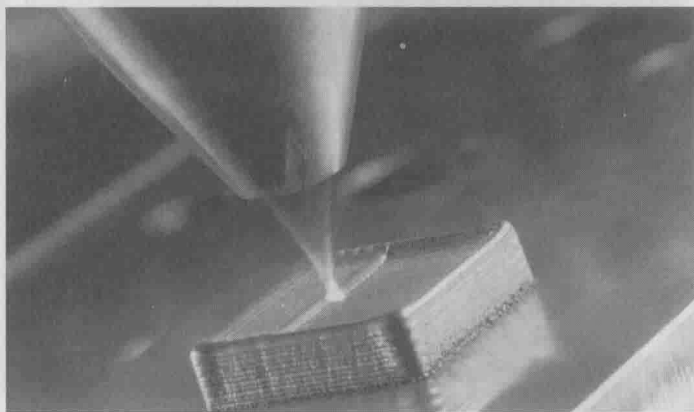


图 1-5 增材制造:在工件上激光沉积焊接

1.2 3D 打印技术系统组成

3D 打印机的整个系统是集机械、控制及计算机技术等为一体的机电一体化系统。使用 3D 打印技术制造产品时,需要由软、硬件设备共同协作完成。一般来说,3D 打印技术系统组成主要有软件、硬件两大部分。

1.2.1 3D 打印的软件

3D 打印中使用的软件主要包括:建模软件、数据处理软件、设备控制软件。

1. 建模软件

只有有 3D 数字模型,才可以打印出与 3D 数模一致的实体,3D 数模是 3D 打印的制造依据。

建模软件用以辅助设计人员完成产品的 3D 设计。设计人员通过建模软件,可以在假想空间详细完整地表达产品的设计细节和需求(如图 1-6 所示)。

目前,用于构建 3D 数模的软件有很多,可根据设计对象的形状和用途选择合适的建模软件。常见的三维建模软件详见 3.3 节。

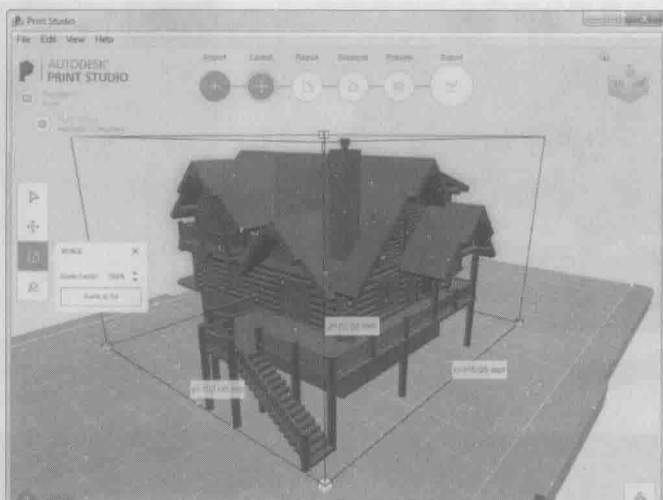


图 1-6 图形设计软件 Autocad 为三维打印推出的增强功能

2. 数据处理软件

3D 打印的基本原理是“分层制造,堆叠成型”。因此,3D 打印之前,需要对三维模型进行数据处理,包括将模型文件从模态结构转化成数字结构,并对转化过程中产生的错误进行检测、数据修复、转换、切片(分层)以及为模型添加必要支撑(便于堆叠)等操作,并生成 3D 打印设备可识别执行的数字文件(如图 1-7 所示)。

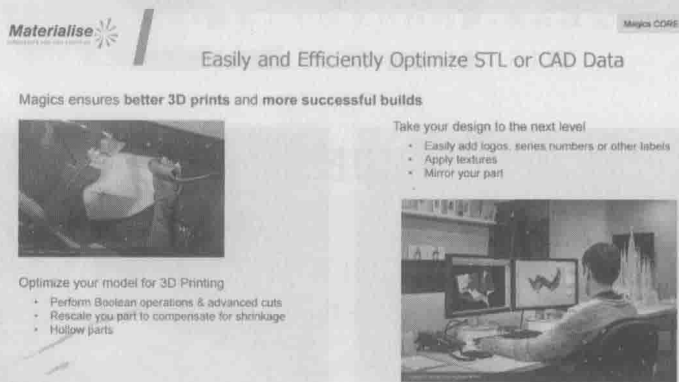


图 1-7 数据处理软件 Magics 在 3D 打印中的应用

3. 设备控制软件

设备控制软件主要是根据导入数据处理生成机器代码,并控制、监测 3D 打印设备完成成型加工。如图 1-8 所示为盈普 TPM3D 设备的控制软件 EliteCtrlSys 的界面。

1.2.2 3D 打印的硬件

3D 打印的硬件主要是指 3D 打印成型设备,俗称 3D 打印机(如图 1-9 所示),是 3D 打印系统的核心组成。



图 1-8 盈普 TPM3D 设备的控制软件 EliteCtrlSys

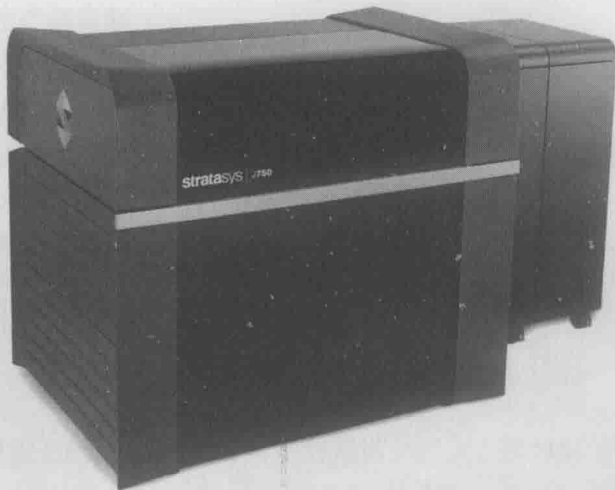


图 1-9 Stratasys 公司的 PolyJet 3D 打印机

3D 打印机的工作过程与普通平面打印机基本相同,打印机内装有打印材料,根据模型的切片信息,按照既定路径逐层打印成型(成型的原理有很多种,详见第 5~10 章),然后层层堆叠,直到形成实体模型。

1.2.3 3D 打印材料

基于 3D 打印的成型原理,打印所用的原材料必须能够液化、粉末化或丝化。同时,保证打印完成后又能重新结合起来,并具有合格的物理、化学性能。

除了模型成型材料,还需要辅助成型的凝胶剂或其他材料,以供支撑或用来填充空间,这些辅助材料在打印完成后需要处理、去除。

现在可用于 3D 打印的材料种类越来越多,树脂、塑料、合金(如镍基铬、钴、铝、钛等)、

聚合物、陶瓷、橡胶类材料等都可作为成型原材料(如图 1-10 所示)。随着技术的发展,3D 打印逐渐出现混合材料的应用。



图 1-10 3D 打印原材料

由于 3D 打印制造技术完全不同于传统制造工业的方式和原理,是对传统制造模式的一种颠覆。可以这么说,3D 打印材料是限制 3D 打印技术发展的主要瓶颈之一,也是 3D 打印突破创新的关键点和难点所在,只有进行更多新材料的开发才能更好地拓展 3D 打印技术的应用领域。

1.3 3D 打印的特点

传统制造方式属于减材制造或等材制造技术范畴,适合大批量、规格化生产,成本随量而变;而 3D 打印属于增材制造技术范畴,能实现“设计即生产”,且适合于小量生产,且成本均一,适合定制化。3D 打印对原材料的损耗较小,还节省模具制造、锻压等工艺的时间成本和资金成本。与传统制造相比,3D 打印技术既有优势也有劣势。

1.3.1 3D 打印技术的优势

1. 从制造成本来看

(1) 生产周期短,节约制模成本

3D 打印技术可将三维数据模型直接制造成实体零件,无须制造模具和试模等传统制造工艺中漫长的试制过程,大大缩短了生产周期,也节约了制模成本。

(2) 复杂零件制造能力强

对于 3D 打印技术而言,制造形状复杂的物体仅是数据模型的不同,制造难易度与制造简单物体并无太大不同,也不会额外消耗更多的时间、材料等成本(如图 1-11 所示)。而传统加工工艺,对一个复杂形状零件的制造是相当耗时费力的,有的甚至无法制造。

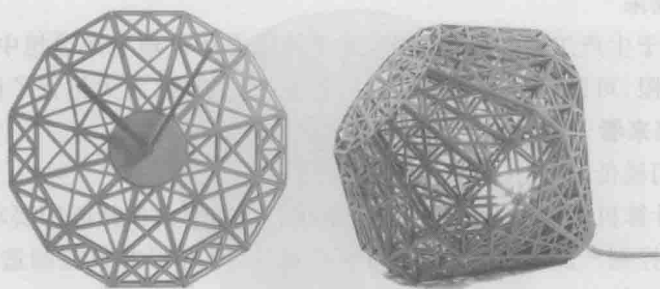


图 1-11 3D 打印复杂结构物体

(3) 产品制造多样化

同一台 3D 打印设备按照不同的数据模型使用相同材料,即可实现多个形状不同的物体的制造。而传统制造设备功能较为单一,能够做出产品的形状种类有限,成本相对也较高。

2. 从制造产品来看

(1) 可实现个性化产品定制

对于 3D 打印技术,从理论上讲,只要计算机建模设计出的 3D 模型,3D 打印机就可以打印出来。人们可以根据需要对模型进行任何个性化修改,实现复杂产品、个性化产品的生产。这一点在医学领域的应用显得尤为重要和适宜,个性化制造符合患者需求,对患者来讲意义重大,诸如假牙、人造骨骼和义肢等(如图 1-12 所示)。

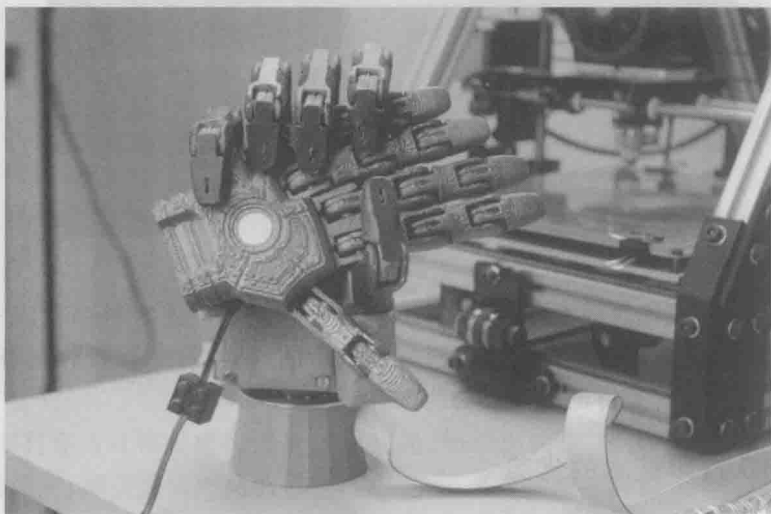


图 1-12 3D 打印的义肢

(2) 产品部件一体化成型

3D 打印可以使部件一体化成型,不需要各个零件单独制造再组装,有效地压缩了生产流程,减少了劳动力的使用和对装配技术的依赖。传统生产中,产品生产是由流水线逐步生产组装的,部件越多,组装和运输所耗费的时间和成本也就越多。

(3) 突破设计局限

传统制造受制于生产工具和制造工艺,并不能随心所欲地生产设想中的产品。3D 打印技术突破了这些局限,可以轻松实现设计者的各种设计想法,大大拓宽了设计和制造空间。

3. 从生产过程来看

(1) 制造技能门槛低

3D 打印是由计算机控制制造的全过程,降低了对操作人员技能的要求。不再依赖熟练工匠的技术能力来控制产品的精度、质量和生产速度,开辟了非技能制造的新商业模式,并能在远程环境或极端情况下为人们提供新的生产方式。

(2) 废弃副产品较少

3D 打印制造的副产品较少。尤其在金属制造领域,传统金属加工浪费量惊人,而 3D 打印进行金属加工时浪费量很小,节能环保。

(3) 精确的产品复制

3D 打印依托三维模型生产产品,在同一产品精度的控制方面也是从数据扩展至实体,因而可以精确地创建副本或优化原件(如图 1-13 所示)。



图 1-13 高精度创建实体

(4) 材料无限组合

传统制造在切割或模具成型的过程中,不能轻易地将不同原材料结合成一件产品。而 3D 打印技术却可将以前无法混合的原材料混合成新的材料,这些材料种类繁多,甚至可以被赋予不同的颜色,具有独特的属性或功能(如图 1-14 所示)。

1.3.2 3D 打印技术的劣势

3D 打印技术并非“无所不能”,还有许多技术困难没有得到完美解决。在产品精度、强度、硬度、实用性等方面还有很大的提升空间。现时技术条件下,3D 打印技术仍存在一些缺陷或劣势。

1. 制造精度问题

3D 打印技术的成型原理是“逐层制造,堆叠成型”,这使得其产品中普遍存在台阶效应(如图 1-15 所示)。尽管不同方式的 3D 打印技术(如粉末激光烧结技术)已尽力降低台阶效应对产品表面质量的影响,但效果并不尽如人意。分层厚度虽然已被分解得非常薄(目前,